

**à Margarida**

Dissertação apresentada para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Geografia e Planeamento Regional, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor José Eduardo Ventura, Professor Auxiliar do Departamento de Geografia e Planeamento Regional da Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa.

## **Agradecimentos Académicos**

É com agrado que expresso a minha gratidão às pessoas e aos organismos que me apoiaram e ajudaram na execução deste trabalho.

Ao Professor Doutor José Eduardo Ventura por todo o apoio, orientação, simpatia e rigor com que sempre me auxiliou. Agradeço em especial a capacidade de ter conseguido ver o melhor de um trabalho imperfeito, incompleto e frequentemente atrasado.

Um especial agradecimento à Doutora Gilda Dantas pelo apoio incansável e pelo otimismo com que sempre se disponibilizou a ajudar durante todo este percurso. E, na qualidade de presidente da Associação Insular de Geografia, por ter trazido a nós madeirenses, a possibilidade de realização de mestrados em Geografia.

Às Mestres Bernardete Pestana e Regina Amorim, pelo carinho com que sempre se disponibilizaram a me ajudar. O constante reforço positivo, o incentivo e a generosa partilha foram forças importantes na persecução deste projeto.

Ao Mestre Uriel Abreu, por me ter aberto caminho no mundo dos Sistemas de Informação Geográfica, em especial na utilização do *software* ArcGis. Foi a ferramenta principal com que se construiu toda a argumentação aqui apresentada.

Às amigas e colegas Dr<sup>a</sup> Dora Agrela e Dr<sup>a</sup> Fátima Abreu pela entusiasta ajuda na revisão do texto e nas sugestões e pesquisas bibliográficas. Sem elas este percurso teria sido mais difícil.

À CMF, DRA, DREM, DRIGOT, IPAM, IGA, e LREC pela cedência de dados.

A todos os que contribuíram para tornar possível a execução deste trabalho os meus agradecimentos.

E por fim, mas não por último, à minha família que sempre esteve comigo e me apoiou, ao meu marido, à minha filha e à minha mãe.

Obrigada.

## **RESUMO**

A presente tese tem como tema de investigação a vulnerabilidade a inundações urbanas rápidas na baixa da cidade do Funchal. Pretende-se que seja um contributo científico-técnico no âmbito do Planeamento e Ordenamento do Território, no quadro da prevenção a eventos perigosos. Apresenta propostas de atuação com o objetivo de aumentar a resistência e a capacidade de recuperação a inundações urbanas rápidas, relativamente às observadas em eventos passados. A sua análise fez-se tendo em consideração as dimensões física, social e económica numa matriz de referência definida pela UNESCO-IHE (*Institute for Water Education*).

A dissertação é composta pela introdução onde são definidos os objetivos e a metodologia utilizados e por 4 capítulos: no capítulo 1 são apresentados alguns conceitos de inundações e vulnerabilidade; no capítulo 2 é caracterizada a área de estudo e a sua inserção no contexto regional, nas suas vertentes física e de evolução da população e da mancha urbana; no capítulo 3 são descritos os fatores desencadeantes e agravantes da inundação de 20 de fevereiro de 2010, tida como referência na análise da vulnerabilidade da baixa do Funchal; o capítulo 4, é onde se avalia a vulnerabilidade da cidade do Funchal a inundações rápidas e onde são equacionadas algumas propostas de atuação. Em anexo, encontram-se figuras e quadros, incluindo um mapa de topónimos citados no texto e quadros de dados usados na execução do presente trabalho.

A área de estudo situa-se no concelho do Funchal, na ilha da Madeira. Este concelho é atravessado por um conjunto de três ribeiras, curtas e de pequena área mas com fortes declives. Nos setores médio e jusante destas ribeiras está situada a cidade do Funchal cuja baixa, constitui a nossa área de análise.

**PALAVRAS-CHAVE:** aluviões, inundações urbanas, vulnerabilidade da baixa do Funchal

## **ABSTRACT**

The research topic at present thesis is the vulnerability to rapid urban flooding in downtown of Funchal. It is intended to be a scientific-technical contribution under the Spatial Planning in the context of prevention of hazardous events. It presents some proposals for action in order to increase the resistance and resilience to rapid urban flooding, relative to that observed for past events. Their analysis is made taking into account the physical, social and economic dimensions in a reference matrix defined by UNESCO-IHE (Insitute for Water Education).

The dissertation consists of the introduction where the objectives and methodology are defined and for 4 chapters: Chapter 1 presents some concepts of floods and vulnerability, Chapter 2 shows the characterization of the area under study and its inclusion in the regional context, whether in terms physics and evolution of population and urban sprawl, in Chapter 3 describes the triggers and aggravating the flood of February 20, 2010, the reference for analyzing the vulnerability of downtown Funchal, in Chapter 4, where it is evaluated the vulnerability of the city of Funchal is fast and where are equated some action proposals floods. In annex, there are figures and tables, including a map of place names mentioned in the text and tables of data used in performing this work.

The study area is located in the municipality of Funchal, in Madeira. This municipality is traversed by a set of three short and small area streams, but with steep slopes. In the middle and downstream sections of these rivers lies the city of Funchal whose low, is our area of analysis.

**KEYWORDS:** aluviões, flash flood, urban vulnerability to flash floods

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

AIG – Associação Insular de Geografia  
ARM – Arquivo Regional da Madeira  
BMF – Bombeiros Municipais do Funchal  
BVM – Bombeiros Voluntários Madeirenses  
CCDV – Centro Comercial Dolce Vita  
CCAS – Centro Comercial Anadia Shopping  
CCMS – Centro Comercial Marina Shopping  
CMF – Câmara Municipal do Funchal  
CTT- Correios e Telecomunicações de Portugal  
DN – Diário de Notícias da Madeira  
DRA – Direção Regional do Ambiente  
DREM – Direção Regional de Estatística da Madeira  
DRIGOT- RAM – Direção Regional de Informação Geográfica e Ordenamento do Território - Região Autónoma da Madeira.  
ESFF – Escola Secundária de Francisco Franco  
ESJM – Escola Secundária Jaime Moniz  
FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto  
I-COOL - *International Consortium of Ocean Observing Laboratories*  
IGA - Investimentos e Gestão da Água, SA  
IGOT – Instituto de Geografia e Ordenamento do Território  
INE - Instituto Nacional de estatística.  
IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera.  
IST – Instituto Superior Técnico  
LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil  
LREC – Laboratório Regional de Engenharia Civil  
PMEPC - Plano de Emergência da Proteção Civil da Câmara Municipal do Funchal  
PRAM – Plano Regional da Água da Madeira  
PSP – Polícia de Segurança Pública  
RAM – Região Autónoma da Madeira

UMa – Universidade da Madeira

UNESCO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

UNESCO-IHE - Institute for Water Education

ZCI – Zonas de Concentração e Irradicação

## ÍNDICE

Agradecimentos académicos .....	iii
Resumo.....	iv
Lista de abreviaturas.....	viii
Lista de Figura .....	x
Lista de Gráficos .....	xiii

### **Introdução**

1. Enquadramento do tema .....	1
2. Objetivos e estrutura do trabalho.....	3
3. Metodologia.....	5

### **Capítulo I – A vulnerabilidade a inundações**

1. As Inundações .....	7
1.1. Alguns conceitos .....	7
1.2. Fatores condicionantes .....	8
2- A vulnerabilidade a inundações .....	9
2.1. Conceito de risco .....	9
2.2. A vulnerabilidade .....	11

### **Capítulo II – A Área em Estudo**

1. A ilha da Madeira .....	15
1.1. Localização e origem .....	15
1.2. Características geológicas e geomorfológicas.....	17
1.3. Características climáticas e hidrográficas .....	21
1.4. O coberto vegetal e os solos .....	27
2- O concelho do Funchal .....	31
2.1- A expansão da cidade. ....	31



**Capítulo III - Inundações da cidade do Funchal – o caso da inundação de 20 de fevereiro de 2010**

1- Episódios de aluviões no passado.....	42
2- Fatores desencadeantes da aluvião de 20 fevereiro.....	48
2.1. A precipitação .....	48
2.2. Características das bacias hidrográficas.....	54
2.3. Movimentos de vertente.....	63
3. Fatores agravantes.....	69
3.1. A topografia e a malha urbana.....	69
3.2. Síntese de conjunto .....	92

**Capítulo IV - Vulnerabilidade do centro do Funchal**

1- A vulnerabilidade e as inundações rápidas .....	95
2- Análise da vulnerabilidade da “Baixa” do Funchal .....	98
2.1- Exposição .....	98
2.2- Suscetibilidade .....	105
2.3- Resiliência .....	108
3- Algumas medidas mitigadoras públicas .....	112
4- Propostas de atuação .....	116

<b>Conclusão</b> .....	121
Bibliografia .....	124
Anexos .....	I

## **Índice de Figuras**

	Página
Figura 1 - Modelo Concetual do Risco.	10
Figura 2– Fluxograma do sistema de informação referente a inundações.	11
Figura 3 – Modelo de Vulnerabilidade. Modificado de Cutter (1999).	12
Figura 4 - Enquadramento geográfico do Arquipélago da Madeira.	15
Figura 5- Batimétricas Madeira-Tore Rise, alinhamentos montanhosos Madeira - Canárias e o rasto do hot spot (tracejado cinza).	17
Figura 6 - Hipsometria da ilha da Madeira: grandes conjuntos geomorfológicos.	19
Figura 7 - Repartição espacial da Temperatura Média Anual.	23
Figura 8 - Distribuição da Precipitação Média Anual.	23
Figura 9 – Rede Hidrográfica da ilha da Madeira.	26
Figura 10 – Andares fitoclimáticos.	28
Figura 11 – Área de distribuição da Laurissilva.	29
Figura 12– Planta do Funchal 1430-1485, reconstituição de António Aragão.	33
Figura 13 - Planta do Funchal 1485-1600, reconstituição de António Aragão.	33
Figura 14– Planta do Funchal 1894, reconstituição de António Aragão.	35
Figura 15- Identificação e localização das ruas antigas relativamente às construídas no início do séc. XX.	36
Figura 16 – Evolução da população residente no concelho do Funchal entre 1950 e 2011.	40
Figura 17 – Perímetros urbanos do Funchal em 1957, 1971 e 1997.	40
Figura 18– Localização das áreas inundadas em A - 1611, 1724, 1765; B-183; C-1815.	44
Figura 19 – Localização das áreas abrangidas pelas inundações dos anos 1856, 1901, 1990 e 1993.	45
Figura 20 - A aluvião de 1993 na imprensa escrita.	46
Figura 21– Cartas de superfície publicadas no Diário de Notícias da Madeira.	47
Figura 22-Precipitação total mensal no ano hidrológico 2009/2010 nas estações udométricas de Sta Quitéria, Trapiche e Areeiro.	50
Figura 23 - Precipitação diária acumulada para o ano hidrológico de 2009/2010.	50
Figura 24 – Precipitação diária total nas estações udométricas de Sta Quitéria, Trapiche e Areeiro.	50
Figura 25- Precipitação horária na Madeira, 20 de Fevereiro de 2010, entre as 05:00h e as 16:00h.	52

Figura 26 – Carta sinótica de superfície de 20 de fevereiro de 2010, às 18h.	52
Figura 27– Ordem dos cursos de água em cada uma das redes hidrográficas.	57
Figura 28– Comprimento total dos cursos de água, por ordem de hierarquia (método de Strahler) na rede de drenagem.	57
Figura 29– Perfis longitudinais das ribeiras de São João, Santa Luzia e João Gomes e ribeiro da Nora.	59
Figura 30 – Declive das bacias hidrográficas.	60
Figura 31 – Aspeto da morfologia da área de implantação das bacias hidrográficas.	62
Figura 32 – Declives no concelho do Funchal.	62
Figura 33 – Cicatrizes de deslizamentos na margem esquerda da ribeira de Santa Luzia.	64
Figura 34 – Cabeceira da ribeira de Santa Luzia em 2007 e 2011 .	67
Figura 35 – Cicatrizes de deslizamento nas cabeceiras das três ribeiras.	67
Figura 36 – Direções gerais dos fluxos da inundação de 20 de fevereiro de 2010.	70
Figura 37 – Inundação na secção terminal da Ribeira de São João.	71
Figura 38 – Identificação de alguns eixos e estruturas de São João.	73
Figura 39 – Direção do escoamento a partir da ribeira de São João.	73
Figura 40 – Classificação dos eixos viários, São João.	73
Figura 41 –Aberturas para estacionamento subterrâneo na muralha hidráulica da ribeira de São João.	74
Figura 42- Identificação de alguns eixos e estruturas urbanas- ribeira de Sta. Luzia.	76
Figura 43– Direção do escoamento, a partir da ribeira de Sta. Luzia.	76
Figura 44 – Inundação e perfil de altitudes da rua dos Tanoeiros.	77
Figura 45 – Largo dos Varadouros (A) e praça Colombo – entrada do estacionamento (B).	79
Figura 46 - Esquema do escoamento nas ruas próximas à secção jusante da ribeira de Santa Luzia .	79
Figura 47- Transbordos na ribeira de João Gomes.	81
Figura 48 – Direções do fluxo na malha urbana, a partir dos transbordos na ribeira de João Gomes.	82
Figura 49 – Identificação de alguns eixos e estruturas.	82
Figura 50– Imagens das inundações nesta secção da bacia hidrográfica da ribeira de João Gomes.	84
Figura 51 – Classificação e perfis dos eixos da margem direita da ribeira de João	85

Gomes.

Figura 52- Classificação e perfis dos eixos inseridos na bacia hidrográfica da ribeira de João Gomes.	86
Figura 53 - Imagens das inundações na margem esquerda da ribeira de João Gomes.	87
Figura 54 – Ribeirinho da Pena: estrangulamento do canal, junto à estrada do Terreiro da Luta (A) e ocupação do leito ao longo da estrada Luso-brasileira (B).	88
Figura 55– Direção do fluxo e identificação de alguns eixos na bacia do ribeirinho da Pena.	89
Figura 56 – Rua Pedro José de Ornelas: descida da enxurrada e perfil da rua.	89
Figura 57 – Canalização do Ribeiro da Nora: a 200m de altitude(A) e junto à saída sul da ESJM (B) próximo da foz.	91
Figura 58 – Altura do escoamento superficial.	92
Figura 59 – Materiais sólidos depositados.	93
Figura 60 – Exposição da População residente.	99
Figura 61 – Exposição da população idosa.	99
Figura 62 – Exposição do património cultural edificado.	99
Figura 63 – Distância média ao curso de água.	101
Figura 64 – Edifícios com ocupação não residencial.	101
Figura 65 – Declives na baixa do Funchal.	101
Figura 66-Declives na baixa do Funchal.	103
Figura 67 – Velocidade de escoamento do fluxo nas ribeiras de São João e João Gomes em 20/2/2010.	103
Figura 68 - Altura da inundação (20/2/2010) (método de interpolação kriging) .	104
Figura 69-Literacia.	107
Figura 70 – Desemprego em 2011.	107
Figura 71 – Edifícios construídos antes de 1970.	107
Figura 72 - Zonas de concentração e Irradicação, propostas pelo PMEPC .	109
Figura 73 – Unidades de proteção civil e corredores de evacuação.	109
Figura 74 – Áreas ajardinadas.	109
Figura 75 – Índice de Vulnerabilidade a Inundações da baixa do Funchal.	110
Figura 76 – Açudes na ribeira de Santa Luzia.	114
Figura 77 – Projeto de junção dos canais jusante das ribeiras de Sta. Luzia e João Gomes.	114
Figura 78 – Aspeto das obras de junção das fozes das ribeiras de Sta. Luzia e João Gomes. [Setembro de 2013].	114

Figura 79 – Localização dos abrigos potenciais.	118
Figura 80 – Isócronas a partir dos abrigos.	118
Figura 81 – Sectores e corredores de evacuação.	119

### **Índice de Tabelas**

Tabela 1– Características geométricas das bacias hidrográficas .	54
Tabela 2 – Indicadores de forma.	55
Tabela 3 – Sistema de drenagem.	58
Tabela 4 – Características geométricas do conjunto das bacias hidrográficas.	61
Tabela 5 - Indicadores seleccionados na análise da vulnerabilidade a cheias.	96

### **Índice de Gráficos**

Gráfico 1 - Prejuízos decorrentes das inundações de 20/2/2010 .	101
Gráfico 2 – Tempo de permanência no local.	106
Gráfico 3 – Sugestão para abandonar o local inundado.	108
Gráfico 4 – Medidas de mitigação.	112

*“Por desgraça nossa não advertiram os fundadores da antiga villa do Funchal, hoje esta nossa cidade, que era expô-la a inundações e a estragos fundal-a nas fraldas d’uma serra elevada, neste valle retalhado por três ribeiras caudalosas, que no inverno descem em fúria das montanhas, e engrossam em todo seu curso com aguas de ribeiros e correjos, que n’elas despejam.”*

*Em: O Baratíssimo, nº2, vol1, 24 de Julho de 1852 (ARM)*